

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kajian Pustaka**

Penelitian tentang las gesek (*friction welding*) sudah banyak dilakukan. Beberapa penelitian terkait kekuatan tarik, struktur mikro, dan nilai kekerasan hasil las sudah mulai dilakukan oleh beberapa peneliti. Oleh sebab itu pembahasan tentang pengkajian pustaka ini difokuskan pada perolehan data tekanan gesek dan hasil penyambungan metode las gesek (*friction welding*).

Prasetyono dan Subiyanto (2012), telah melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh waktu gesek, tekanan gesek dan tekanan tempa terhadap *impact strength* sambungan las. Penelitian pengelasan gesek dengan variasi waktu gesekan 70 dan 90 detik serta dengan menggunakan tekanan gesek 5,98 MPa, 11,96 MPa dan 17,94 MPa sampai mencapai temperatur tertentu, kemudian diberikan tekanan tempa sebesar 23,93 MPa, 33,5 MPa dan 52,64 MPa dengan menggunakan bahan Baja karbon AISI 1045 sebagai benda kerja, kecepatan putar yang digunakan 4124 rpm. Dari penelitian diperoleh hasil lasan yang baik dengan nilai *impact strength* sebesar 40 J/mm<sup>2</sup>. Kekuatan impak ini diperoleh pada durasi 90 detik dengan tekanan gesek 17,94 MPa dan tekanan tempa 52,64 MPa.

#### **2.2 Proses Dasar Pengelasan**

Perkembangan penggunaan teknik pengelasan dalam bidang konstruksi sangat luas, meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, pipa pesat, pipa saluran, kendaraan rel dan lain sebagainya. Las dapat digunakan untuk reparasi misalnya untuk mengisi lubang-lubang pada coran, mempertebal bagian yang aus dan macam-macam lainnya (Wiryosumarto dan Okumura; 2008). Pengelasan (*welding*) adalah salah satu proses penyambungan dua buah logam sampai titik rekristalisasi logam baik menggunakan bahan tambahan maupun tidak menggunakan bahan tambahan dan energi panas sebagai pencair bahan yang dilas.

Berdasarkan kerjanya pengelasan digolongkan menjadi :

1. Pengelasan cair adalah pengelasan dengan cara mencairkan logam yang akan disambung dengan sumber panas dari busur listrik atau sumber api gas terbakar.
2. Pengelasan tekan adalah pengelasan dengan cara sambungan dipanaskan kemudian ditekan hingga menjadi satu.
3. Pematrian adalah pengelasan dengan cara sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. Dalam hal ini logam induk tidak ikut mencair (Wiryosumarto dan Okumura; 2008).

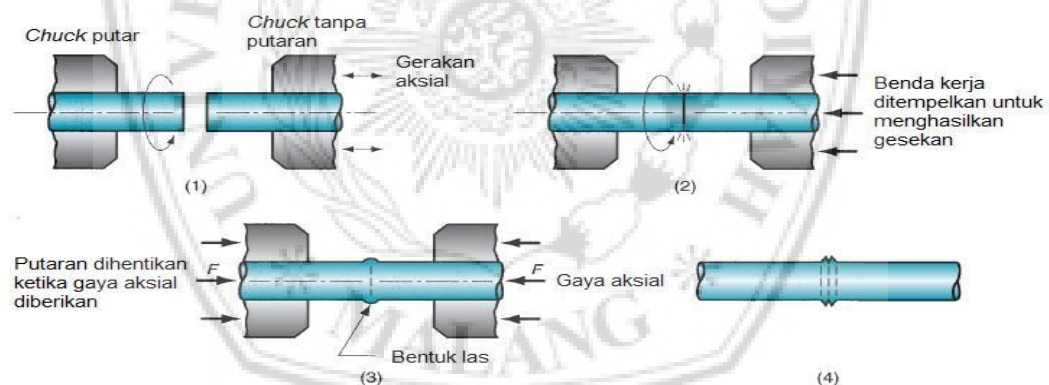
Metalurgi dalam pengelasan, dalam pengertian yang sempit dapat dibatasi hanya pada logam las dan daerah yang terpengaruh panas atau *Heat Affected Zone* (HAZ). Untuk alasan ini secara singkat dan umum, latar belakang prinsip-prinsip metalurgi juga diperlukan sebelum membicarakan sifat-sifat las dan HAZ yang berdekatan. Dengan mengetahui metalurgi las, memungkinkan memprediksi sifat-sifat dari logam las. Pada proses pengelasan perlu diperhatikan faktor keamanan dan umur konstruksi, karena panas pengelasan sangat berpengaruh terhadap sifat material antara lain kekuatan tarik, retak las, kekerasan, ketangguhan, serta perubahan struktur mikro (Yustiasih dkk; 2005). Aspek yang timbul selama dan sesudah pengelasan harus diperhitungkan sebelumnya, karena perencanaan yang tidak sesuai dapat mengakibatkan kualitas hasil las yang kurang baik. Dengan demikian pengetahuan metalurgi las dan ditambah dengan keahlian dalam operasi pengelasan, dapat ditentukan prosedur pengelasan yang baik guna menjamin hasil sambungan las yang baik dan sempurna.

### 2.3 Pengelasan Gesek (*Friction Welding*)

Pengelasan gesek adalah proses pengelasan keadaan padat atau tanpa logam pengisi. Metode ini bergantung pada konversi energi mekanik ke energi termal untuk membentuk pengelasan, tanpa aplikasi dari sumber panas lain. Panas untuk pengelasan dihasilkan oleh gerakan relatif dari dua antarmuka yang tersambung. Penyambungan terjadi antara dua permukaan

bahan yang saling bergesekan, salah satu berputar sedang lainnya diam, lalu dikontakkan oleh gaya tekan aksial. Gesekan pada kedua permukaan kontak dilakukan secara kontinyu, sehingga panas yang ditimbulkan oleh gesekan akan terus meningkat sampai mendekati titik lebur logam sehingga terjadi *flash*. Dengan gaya tekan dan panas pada kedua permukaan hingga pertemuan kedua bahan mencapai suhu leleh (*melting temperature*) maka terjadilah proses las (Elmer dan Kautz; 1983).

Parameter yang penting saat proses pengelasan gesek adalah tekanan gesek ( $P_f$ ), waktu gesekan ( $t_f$ ), tekanan tempa ( $P_u$ ), waktu tempa ( $t_u$ ) dan kecepatan putar ( $s$ ). Pada proses penyambungan terjadi proses deformasi plastis. Deformasi plastis terjadi akibat tekanan tempa, dan terjadi proses difusi karena adanya panas yang tinggi saat proses pengelasan. Deformasi plastis adalah pembentukan logam dimana baik ukuran maupun bentuk dari logam tidak dapat kembali pada keadaan semula (Suriadi dan Suarsana; 2007).



**Gambar 2.1** Tahap *friction welding* a). Tahap pemanasan Dan pemutaran, b) tahap pembangkitan panas akibat Gesekan, d). Tahap akhir penekanan lanjut (Mikell P. Groover, 2010: 734).

Dalam gambar 2.1 ditunjukkan tahapan proses pengelasan gesek sebagai berikut :

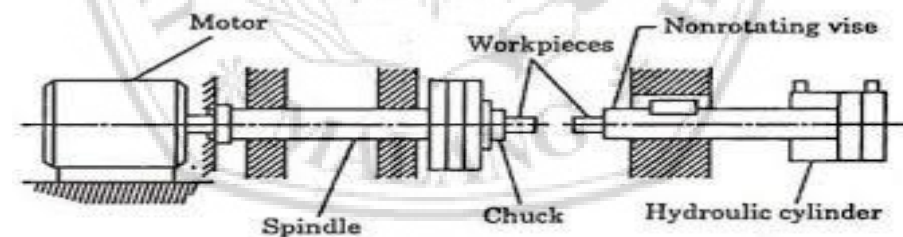
1. Salah satu poros diputar dan logam poros lain dicekam pada *toolpost* lalu diberikan tekanan aksial.
2. Kedua poros digesekkan sehingga timbul panas.

3. Panas yang ditimbulkan gesekan sampai mendekati titik lebur logam tersebut sehingga terjadi *flash*.
4. Selanjutnya mesin dimatikan, kemudian secara langsung diberi tekanan aksial. Terbentuklah sambungan las gesek antara dua poros logam.

*Friction welding* dipengaruhi oleh 5 faktor yaitu : Kecepatan relatif antar permukaan, Tekanan yang dikenakan, Temperatur yang terbentuk pada permukaan, Sifat dari material, Kondisi permukaan. Untuk melakukan *friction welding* ada dua cara yaitu *direct drive welding* dan *inertia drive welding* (Tiwan dan Ardian, 2005).

#### 1. *Direct-Drive Welding*

Skema pengelasan *Direct-drive welding* ditunjukkan pada gambar 2.2 Benda kerja yang diam harus dicekam dengan kaku untuk mencegahnya ikut berputar. Putaran terus dilakukan hingga seluruh permukaan yang disambung mencapai temperatur yang diinginkan. Kemudian putaran dihentikan dan gaya tekan diberikan pada proses akhir pengelasan. Pada kasus ini parameter proses pengelesan gesek ini antara lain kecepatan putar, gaya tekan aksial (Tiwan dan Ardian, 2005).



**Gambar 2.2** Skema *Direct-drive welding* (sumber: ASM HANDBOOK)

#### 2. *Inertia-Drive Welding*

Pengelasan menggunakan *inertia drive welding* hampir sama dengan proses pengelasan *direct drive welding* tetapi pada *spindle* diberi *flywheel* sebagai penyimpan tenaga seperti terlihat pada gambar 2.3. *flywheel* dirancang agar dapat ditambah atau dikurangi masanya. Jumlah energi yang tersimpan dalam *flywheel* dikontrol oleh kecepatan

kemudian tekanan aksial diberikan secara konstan selama proses pengelasan dapat pula dilakukan diakhir proses.

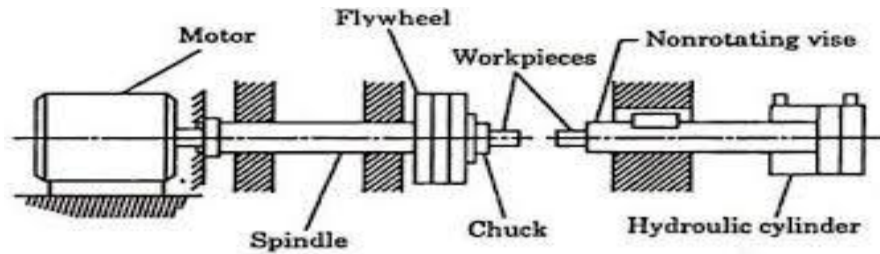
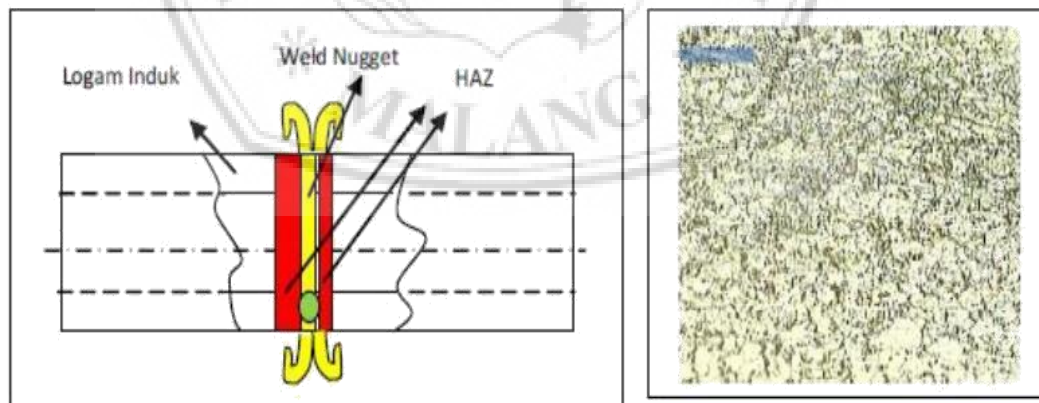


Fig. 13.15 A schematic representation of the setup for inertia welding.

Gambar 2.3 Skema *Inertia-drive welding* (sumber: ASM HANDBOOK)

### 2.3.1 Daerah sambungan Friction Welding

Daerah pengelasan adalah daerah yang terkena pengaruh panas saat proses pengelasan. Pengaruh panas tersebut menyebabkan sifat material mengalami perubahan karena perubahan struktur mikro pada area sambungan las. Daerah pengelasan terdiri dari tiga bagian yaitu; logam lasan, daerah pengaruh panas (HAZ), dan logam induk. Dalam gambar 2.4 ditunjukkan daerah pengelasan.



Gambar 2.4 Struktur Mikro Logam Hasil *Friction Welding*  
(Husodo dkk, 2012)

Daerah sambungan terdiri dari tiga bagian yaitu sebagai berikut :

1. Logam lasan (*weld metal*), adalah daerah endapan las (*weld deposit*) dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Endapan las berasal dari logam pengisi (*filler metal*).
2. Daerah pengaruh panas (HAZ), adalah daerah dimana logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama pengelasan mengalami siklus termal atau pemanasan dan pendinginan dengan cepat.
3. Logam induk (*parent metal*), adalah bagian logam yang tidak terpengaruh oleh pemanasan dan temperatur yang disebabkan selama proses pengelasan, serta tidak menyebabkan terjadinya perubahan struktur dan sifat mekanis dari logam induk. Hal ini disebabkan karena temperatur atau suhu yang terjadi di logam induk belum mencapai temperatur kritis (Wiryosumarto dan Okumura; 2008).

### **2.3.2 Kelebihan dan Kekurangan Las Gesek (*Friction Welding*)**

Bila dibandingkan dengan proses penyambungan metode las fusi, ada beberapa keuntungan yang dimiliki dari proses las gesek. Adapun kelebihanannya adalah sebagai berikut :

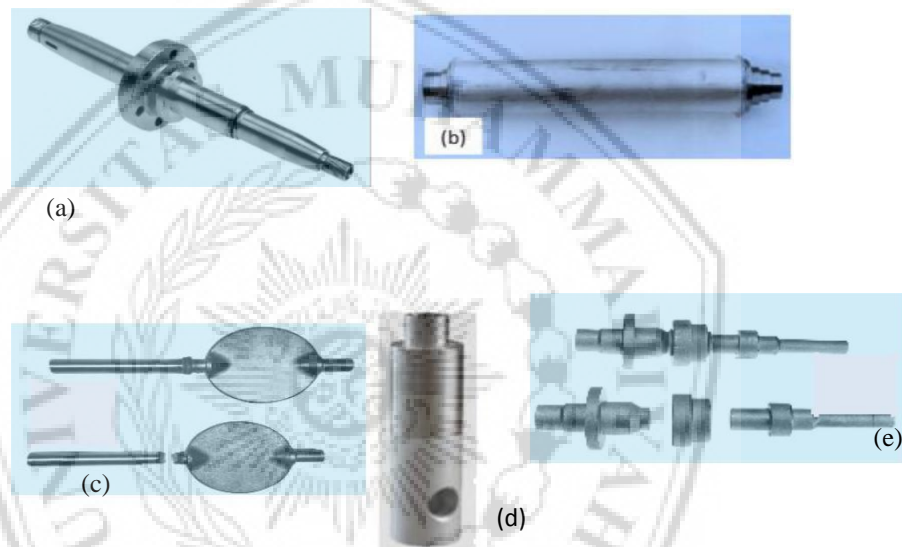
1. Tidak membutuhkan logam pengisi pada proses pengelasan.
2. Tidak ada fluks atau *filler* logam dan gas yang diperlukan dalam las gesek.
3. Kemungkinan terjadinya inklusi terak dan porositas dapat dihindarkan.
4. Cocok untuk jumlah produksi yang banyak.
5. Lebih ramah lingkungan karena tidak menghasilkan asap atau gas.
6. Mengurangi tenaga kerja mesin, biaya pemeliharaan, meningkatkan kapasitas dan mengurangi biaya perkakas yang mudah rusak.
7. Memiliki kontrol yang akurat pada toleransi lasan.
8. Dapat menyambungkan dua material berbeda karakteristiknya.

Namun metode las gesek juga memiliki kekurangan yaitu :

1. Benda yang disambung harus simetris.
2. Salah satu material yang disambung harus memiliki sifat mampu deformasi secara plastis.
3. Keterbatasan bentuk yang dapat dilas.

### 2.3.3 Aplikasi Las Gesek

Berbagai macam hasil sambungan dari pengelasan las gesek (*friction welding*) dengan menggunakan bahan *Stainless Steel*.



**Gambar 2.5** Hasil Sambungan Las Gesek (a) *Water pump-finished*, (b) *Alumunium-SS (Copier fuser roller)*, (c) *Butterfly valves*, (d) *Peralih penghubung pada reaktor nuklir (Al Alloy-Stainless Steel)*, (e) *Transmission input shaft* (<http://www.mtiwelding.com>)

## 2.4 Kajian Material Uji

### 2.4.1 Definisi Baja Paduan

Baja merupakan paduan dari besi dengan karbon 0.08% sampai 2.0% dan terdapat bahan tambah lainnya seperti Si, Mn, P, S dan Cu, baja dikelompokkan berdasarkan kadar karbon yaitu baja karbon rendah, baja karbon sedang dan baja karbon tinggi. (Wiryosumarto, 2000:90)

Semakin besar kadar karbon dalam baja maka kekuatan dan kekerasan akan semakin tinggi tetapi keuletan akan menurun serta akan lebih sulit untuk dilakukan proses pengelasan. Baja karbon dapat dilas dengan semua cara pengelasan yang ada dan hasilnya akan baik bila persiapan dan persyaratannya dipenuhi. Pada kenyataannya baja karbon adalah baja yang mudah di las.

Dibawah ini adalah tabel klasifikasi baja karbon sesuai dengan jenis dan kelas sesuai kandungan karbonnya, Klasifikasi dari baja karbon dapat dilihat dalam tabel berikut :

**Tabel 2.1** Klasifikasi Baja Karbon (Wiryosumarto 2000:90)

Jenis	Kadar karbon	Kekuatan melebur (kg/mm <sup>2</sup> )	Kekuatan tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	Perpanjangan (%)	Kekerasan brinell	Aplikasi
Baja karbon rendah	0,08	8-28	32-36	40-30	95-100	Plat tipis
	0,08-0,12	20-29	36-42	40-30	80-120	batang, kawat
	0,12-0,20	22-30	38-48	16-24	100-130	kontruksi
	0,20-0,30	24-36	44-45	32-22	112-145	umum
Baja karbon sedang	0,30-0,40	30-40	50-60	30-17	140-170	Alat-alat
	0,04-0,50	34-46	58-70	26-14	160-200	mesin perkakas
Baja karbon tinggi	0,50-0,80	36-47	65-100	20-11	180-235	Rel, pegas dan kawat piano

Ditinjau dari paduannya baja diklasifikasikan menjadi dua bagian yaitu baja paduan rendah (*low alloy steel*) dan baja paduan tinggi (*high alloy steel*). Baja paduan rendah merupakan baja yang sedikit paduan unsur lainnya kecuali karbon dan sedikit mangan, sedangkan baja dengan paduan tinggi terdapat banyak unsur lain untuk meningkatkan karakteristik tertentu dari logam baja tersebut.



**Tabel 2.2** Sifat Baja (irwandy, 2013)

Campuran logam	Pengaruh terhadap sifat baja	
	Menambah	Mengurangi
Karbon (C)	Ketangguhan, kekerasan, sifat pengerasan	Titik lebur, keuletan, regangan sifat mengelas, menempa
Silisium (Si)	Menambah elastisitas, ketangguhan, kekerasan dan tahan karat	Titik lebur, keuletan, regangan sifat mengelas, menempa
Fosfor (P)	Lemburan encer	Sifat mengelas
Sulfur (S)	Serpihan mudah patah	Regangan dan gaya kekuatan pukul
Mangan (Mg)	Kekerasan, ketangguhan, daya kekuatan pukul dan daya keausan	Daya kekuatan pukul
Nikel (Ni)	Keuletan regangan, ketangguhan, daya tahan karat, tahan listrik dan suhu tinggi	Sifat membuat serpih
Khrom (CR)	Kekerasan, ketangguhan, daya tahan karat, suhu tinggi dan ketajaman	Tegangan suhu tinggi
Varadium (V)	Daya tahan lama, kekerasan dan keuletan	Regangan
Molybdenum (Mo)	Kekerasan dan tahan lama	Daya tahan suhu tinggi
Kobal	Kekerasan ketajaman	Keuletan mengurangi daya tahan suhu tinggi
Wolfram (W)	Kekerasan, ketangguhan, daya, tahan karat, suhu tinggi dan ketajaman	Regnagan

#### 2.4.2 Struktur Mikro Baja

Beberapa fasa yang sering ditemukan dalam baja karbon adalah (Yogantoro,2010):

##### a. Austenit

Austenit adalah campuran besi dan karbon yang terbentuk pada pembekuan, pada proses pendinginan selanjutnya austenit berubah menjadi ferit dan perlit atau perlit dan sementit. Sifat austenit adalah lunak, lentur dengan keliatan tinggi. Kelarutan maksimal kandungan karbon sebesar  $\pm 2,06\%$  pada suhu  $1148^{\circ}\text{C}$ , struktur kristalnya FCC (*Face Center Cubic*). Sifat ketangguhan tinggi dan tidak stabil pada suhu ruang.

b. Ferit

Fasa ini disebut alpha ( $\alpha$ ). Ruang antar atomnya kecil dan rapat sehingga akan sedikit menampung atom karbon. Batas maksimum kelarutan karbon  $\pm 0,025\%$  C pada temperatur  $723^{\circ}\text{C}$ , struktur kristalnya BCC (*Body Center Cubic*). Pada suhu ruang, kadar kelarutan karbonnya  $\pm 0,008\%$  sehingga dapat dianggap besi murni. Ferit bersifat magnetik sampai suhu  $768^{\circ}\text{C}$ . Sifat-sifat ferit adalah ketangguhan rendah, keuletan tinggi, ketahanan korosi medium dan struktur paling lunak diantara diagram Fe3C.

c. Perlit

Perlit ialah campuran *eutectoid* antara *ferrite* dengan *cementite* yang terbentuk pada suhu  $723^{\circ}\text{C}$  dengan kandungan karbon  $0,83\%$  (Aisyah, 2012). Fasa perlit merupakan campuran mekanis yang terdiri dari dua fasa, yaitu ferit dengan kadar karbon  $0,025\%$  dan sementit dalam bentuk *lamellar* (lapisan) dengan kadar karbon  $6,67\%$  yang berselang-seling rapat terletak bersebelahan. Jadi, perlit merupakan struktur mikro dari reaksi eutektoid *lamellar*.

d. Bainit

Bainit merupakan fasa yang terjadi akibat transformasi pendinginan yang sangat cepat pada fasa austenit ke suhu antara  $250 - 550^{\circ}\text{C}$  dan ditahan pada suhu tersebut (isothermal). Bainit adalah struktur mikro dari reaksi eutektoid ( $\gamma \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ ) *non lamellar*. Bainit merupakan struktur mikro campuran fasa ferit dan sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Kekerasan bainit kurang lebih berkisar antara  $300 - 400 \text{ HVN}$ .

e. Martensit

Martensit merupakan fasa diantara ferit dan sementit bercampur, tetapi bukan *lamellar*, melainkan jarum-jarum sementit. Fasa ini terbentuk austenit meta stabil didinginkan dengan laju pendinginan cepat tertentu. Terjadinya hanya prepitasi Fe<sub>3</sub>C unsur paduan lainnya tetapi larut transformasi isothermal pada 260 °C untuk membentuk dispersi karbida yang halus dan matriks ferit.

f. Sementit (karbida besi)

Sementit merupakan paduan besi melebihi batas daya larut membentuk fasa kedua. Karbida besi mempunyai komposisi kimia Fe<sub>3</sub>C. Dibandingkan dengan ferit, sementit sangat keras. Karbida besi dalam ferit akan meningkatkan 16 kekerasan baja. Akan tetapi karbida besi murni tidak liat, karbida ini tidak dapat menyesuaikan diri dengan adanya konsentrasi tegangan, oleh karena itu kurang kuat.

### 2.4.3 Baja AISI 1045

Baja AISI 1045 termasuk dalam baja karbon sedang karena memiliki kadar karbon 0.45%. pengaplikasiaannya biasanya dalam pembuatan komponen permesian dimana dapat dilakukan dengan cara pengelasan gesek. (Prasetyono dan subiyanto, 2012). AISI merupakan kepanjangan dari (*American Institute for Steel and Iron*) cara pembacaan dari AISI 1045 yaitu untuk angka 10 menunjukkan kandungan paduan baja sedangkan untuk angka 45 menunjukkan kadar karbon.

**Tabel 2.3** Sifat-sifat mekanis Baja Karbon AISI 1045 (Interlloy Pty Ltd).

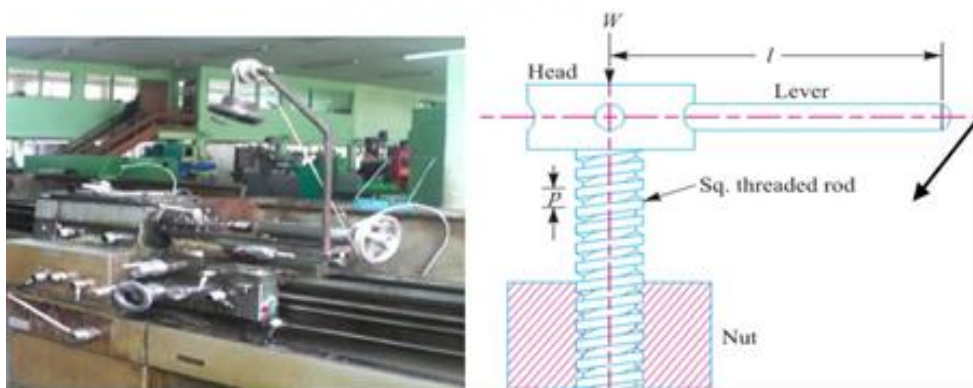
No	Hardness (BHN)	Tensile Strength (Mpa)	Yield strength (Mpa)	Elongation %
1	190-270	640-850	500-650	8

**Table 2.4** Unsur kimia baja AISI 1045 (Brammer Standard Company, Inc).

Unsur	Nilai %	Unsur	Nilai %
Carbon	0.457	Aluminium	0.002
Manganese	0.75	Antimony	(0.002)
Posphorus	0.016	Arsenic	(0.005)
Sulfur	0.024	Boron	(0.0004)
Silicon	0.34	Calcium	0.0012
Copper	0.22	Cobalt	0.009
Nickel	0.056	Nitrogen	0.0090
Chormium	0.058	Tin	0.029
Molybdenum	0.012	Titanium	0.002
Vanadium	0.013	Tungsten	0.005

## 2.5 Mekanisme Gaya Tekan

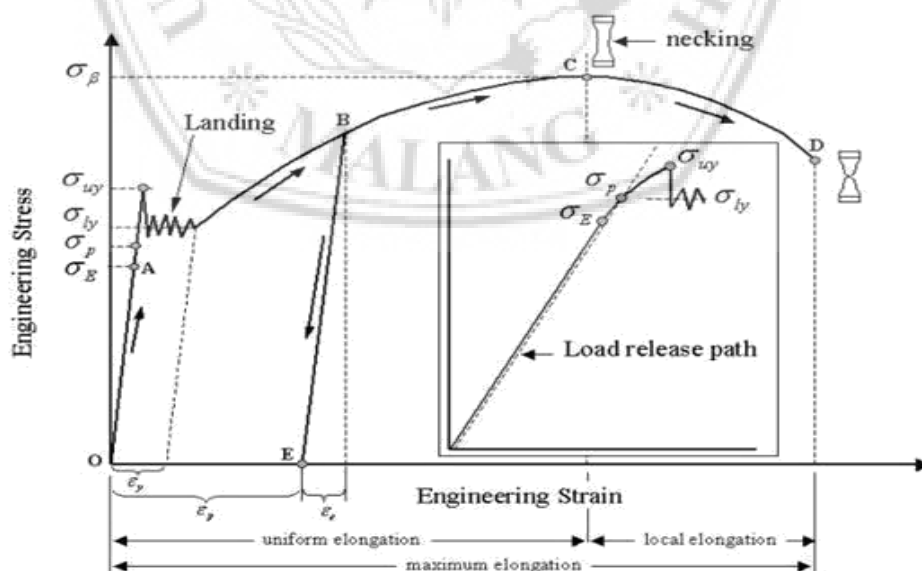
Mekanisme ini untuk mendapatkan gaya penekanan pada proses pengelasan gesek, engkol pemutar pada *tail stock* diganti dengan *pulley* yang dihubungkan dengan tali ( *selling* ) yang ujung tali diberi beban. Beban akan turun dan memutar *pulley* sehingga menggerakkan poros *tail stock* untuk bergerak maju mendorong benda kerja yang di jepit *arbor* pada ujung *tail stock*, selanjutnya proses pengelasan berlangsung. ditunjukkan pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6.** Mekanisme pembebanan pada tail-stock (Jurnal Poedji Haryanto 2011)

## 2.6 Pengujian Tarik

Dieter (1988), menyatakan bahwa uji tarik adalah salah satu uji *stress-strain* mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan material terhadap gaya tarik. Dalam pengujiannya, bahan uji ditarik sampai putus. Uji tarik rekayasa banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu material dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan. Pada uji tarik, benda uji diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah secara kontinyu, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan terhadap perpanjangan yang dialami benda uji (Davis, Troxell, dan Wiskocil, 1988). Kurva tegangan dan regangan dibuat dari hasil pengujian yang didapatkan. Tegangan yang digunakan pada kurva adalah tegangan membujur rata-rata dari pengujian tarik. Tegangan tersebut diperoleh dengan cara membagi beban yang diberikan dibagi dengan luas awal penampang benda uji. Sedangkan regangan yang digunakan untuk kurva tegangan-regangan adalah regangan linear rata-rata, yang diperoleh dengan cara membagi perpanjangan yang dihasilkan setelah pengujian dilakukan dengan panjang awal. Dalam gambar 2.7 ditunjukkan profil singkat uji tarik.



**Gambar 2.7** Profil Singkat Uji Tarik (Sastranegara, 2010)

- a. Batas elastis  $\sigma_E$  dinyatakan dengan titik A. Bila sebuah bahan uji diberi beban sampai pada titik A, kemudian bebannya dihilangkan, maka bahan uji tersebut akan kembali ke kondisi semula (tepatnya hampir kembali ke kondisi semula) yaitu regangan “nol” pada titik 0.
- b. Batas proporsional  $\sigma_p$  adalah titik sampai dimana penerapan hukum Hooke masih bisa ditolerir. Biasanya batas proporsional sama dengan batas elastis.
- c. Deformasi plastis adalah perubahan bentuk yang tidak kembali pada keadaan semula. Pada gambar di atas bila bahan uji ditarik sampai melewati batas proporsional dan mencapai daerah landing.
- d. Tegangan luluh atas  $\sigma_{uy}$  (*upper yield stress*) adalah tegangan maksimum sebelum bahan uji memasuki fase daerah landing peralihan deformasi elastis ke plastis.
- e. Tegangan luluh bawah  $\sigma_{ly}$  (*lower yield stress*) adalah tegangan rata-rata daerah landing sebelum benar-benar memasuki fase deformasi plastis. Bila hanya yang disebutkan tegangan luluh, maka yang dimaksud adalah tegangan ini.
- f. Fase Regangan luluh  $\epsilon_y$  (*yield strain*) adalah regangan permanen saat bahan uji akan memasuki deformasi plastis.
- g. Regangan elastis  $\epsilon_e$  (*elastic strain*) adalah regangan yang diakibatkan perubahan bahan uji. Pada saat beban dilepaskan regangan ini akan kembali ke posisi awal.
- h. Regangan plastis  $\epsilon_p$  (*plastic strain*) adalah regangan yang diakibatkan perubahan plastis. Pada saat beban dilepaskan regangan ini tetap tinggal sebagai perubahan permanen bahan uji.
- i. Regangan total (*total strain*) adalah gabungan regangan plastis dan regangan elastis,  $\epsilon_T = \epsilon_e + \epsilon_p$ . Perhatikan beban dengan arah OABE. Pada titik B, regangan yang ada yaitu regangan total. Ketika beban dilepaskan, posisi regangan ada pada titik E dan besar regangan yang tinggal OE yaitu regangan plastis.

- j. Tegangan tarik maksimum (*UTS, ultimate tensile strength*) ditunjukkan dengan titik C ( $\sigma_b$ ), yaitu besar tegangan maksimum yang didapatkan dalam uji tarik.
- k. Kekuatan patah ditunjukkan dengan titik D, yaitu besar tegangan dimana bahan uji patah atau putus.

Tegangan yang digunakan pada kurva adalah tegangan membujur rata-rata-dari pengujian tarik. Tegangan tersebut diperoleh dengan cara membagi beban yang diberikan dibagi dengan luas penampang benda uji. Dituliskan seperti dalam persamaan 2.1 berikut.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$\sigma$  = Tegangan (N/mm<sup>2</sup>)

F = Beban (N)

A = Luas penampang (mm<sup>2</sup>)

Keterangan :

$\sigma$  : Tegangan maksimal, F: gaya tarikan,

A: luas penampang

Regangan yang digunakan untuk kurva tegangan-regangan adalah regangan linear rata-rata, yang diperoleh dengan cara membagi perpanjangan yang dihasilkan setelah pengujian dilakukan dengan panjang awal. Dituliskan seperti dalam persamaan 2.2 berikut.

$$\epsilon = \frac{L - L_0}{L_0} 100 \%$$

$\epsilon$  = Regangan

$L_0$  = Panjang awal

L = Panjang setelah ditarik

Keterangan :

$\epsilon$  : Regangan

$\Delta L$ : pertambahan panjang, L: panjang awal

Hubungan antara tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) dirumuskan dengan hukum Hooke:  $E = \sigma / \epsilon$ .